



Hinc patriam sustinet

**Instituto Superior de Agronomia
Universidade Técnica de Lisboa**



**Estudo da biodegradabilidade de bioplásticos numa
cultura de ciclo curto – Melão
(*Cucumis melo* L. var. *inodorus* N.)**

Artur Figueiredo Saraiva

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia do Ambiente

Orientador: Doutora Elizabeth da Costa Neves Fernandes de Almeida Duarte

Júri:

Presidente: Doutor Arlindo Lima, Professor Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da
Universidade Técnica de Lisboa

Vogais: Doutora Elizabeth da Costa Neves Fernandes de Almeida Duarte, Professora
Catedrática do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa

Mestre Maria Margarida da Costa Ferreira Correia de Oliveira, na qualidade de
especialista

Licenciada Natércia Garrido, na qualidade de especialista

Lisboa, 2012

Agradecimentos

À Professora Doutora Elizabeth Duarte pela orientação, apoio, incentivo, amizade, pela confiança depositada no meu trabalho, e claro, pela possibilidade de ter realizado este trabalho no âmbito do Projecto Europeu FP7 “Development of enhanced biodegradable films for agricultural activities” – Agrobiofilm.

Agradeço à empresa Silvex – Indústria de Plásticos e Papéis SA, na pessoa do Coordenador de Projecto Dr. Paulo Azevedo e ao Eng. Carlos Rodrigues.

Um agradecimento especial a toda a equipa do “Agrobiofilm” que de uma maneira ou de outra me ajudou no decorrer destes dois anos de trabalho, nomeadamente ao Lopo Carvalho, ao Miguel Martins, à Ana Costa, à Professora Margarida Oliveira (ESA Santarém) e à Professora Cristina Cunha Queda.

Agradeço à Christine Moraes, ao Senhor Domingos e à professora Maria Odete Torres por toda a ajuda, apoio e disponibilidade ao longo deste trabalho.

Aos meus pais, pelos sacrifícios, ensinamentos, amor e compreensão. Sem eles não teria chegado até aqui! Às minhas maninhas pelo apoio. A toda a minha família (Avó, Avô, Tios e Primos).

À minha namorada, Raquel, por todo o apoio e motivação que me deu, o que contribuiu muito para o sucesso que obtive neste percurso académico!

A todos os colegas e amigos que fizeram parte do meu percurso académico e me ajudaram a chegar aqui.

Aos meus amigos de sempre, aquele grupo especial, os Pabls!

Ao meu avô José e avó Judite que infelizmente não me poderão ver terminar esta fase importante da minha vida.

um sentimento no final deste percurso? Yes, we can!

Resumo

Devido à grande quantidade de filmes de cobertura utilizados em culturas agrícolas e aos problemas ambientais relacionados com a sua eliminação, os filmes plásticos biodegradáveis parecem ser a melhor solução para substituir os convencionais de polietileno.

O principal objetivo deste trabalho consistiu na avaliação e comparação do desempenho agronómico de filmes plásticos biodegradáveis com os convencionais de polietileno na cultura de melão durante dois anos. Além da produtividade e qualidade de frutos, o impacto que cada plástico exerceu na humidade e temperatura do solo também foram avaliados. Tendo em conta que até à data não há estudos de biodegradação realizados em Portugal, foi também importante verificar a taxa de biodegradabilidade destes novos filmes plásticos nas condições do solo português.

Os filmes plásticos biodegradáveis não apresentaram diferenças significativas na produtividade e qualidade dos frutos. Em relação à taxa de biodegradação dos plásticos testados, esta não foi tão elevada como seria de esperar.

Através dos resultados obtidos nestes dois anos de trabalho pode-se concluir que os plásticos biodegradáveis parecem ser uma boa solução para a substituição dos plásticos convencionais de polietileno, contudo a pesquisa e desenvolvimento destes novos plásticos deve continuar a ser realizada, de modo a que a sua taxa de biodegradação seja otimizada.

Palavras-chave: cobertura do solo, teste de biodegradabilidade, filmes de cobertura biodegradáveis, polietileno, sustentabilidade, melão.

AGROBIOFILM project was funded by the European Union's Seventh Framework Program (FP7/2007-2013) managed by REA – Research Executive Agency – under the grant agreement number 262257.

Abstract

Due to the large amount of mulch films used in agricultural crops and to all the environmental problems related with their disposal, the biodegradable mulch films seems to be the best solution for replacing the conventional polyethylene mulches.

The main goal of this work was to evaluate and compare the performance of biodegradable mulch films with the conventional polyethylene ones in muskmelon culture during two years. Beyond fruit productivity and quality, the impact of each plastic in the soil moisture and temperature were also assessed. Taking into account that there are no reported biodegradation studies realized in Portugal, it was also important to verify the biodegradability of this new mulch films under the Portuguese soil conditions.

The biodegradable mulch films did not show significant differences in fruit productivity and quality. The biodegradation rate of the mulches tested was not as high as would be expected.

From the overall results obtained, biodegradable mulch films appear to be a good solution for the replacement of the conventional polyethylene mulches, however the R&D should continue to be done to improve their biodegradation rate.

Keywords: soil mulching, biodegradation test, bio-much film, polyethylene, sustainability, muskmelon.

Extended Abstract

Due to the large amount of conventional agricultural mulch films used, derived from fossil raw materials, and the environmental problems related with the life cycle of this non-renewable material, biodegradable mulch films have been developed to replace the conventional polyethylene. Within the European project Agrobiofilm field trials were performed in muskmelon crop during two years, in order to evaluate the performance of the bio-mulch films when comparing with the conventional polyethylene. A laboratorial test was also performed to determine the biodegradable capacity of the bio-mulch films under the Portuguese soils conditions.

The plastics used in this study were produced with Mater-Bi™ raw-material developed by the Italian company Novamont. The Mater-Bi™ starch based material was the first biodegradable and compostable bio-polymer to be created. For this study we tested three different biodegradable mulch films, which were extruded with a new grade from Mater-Bi™, not commercially available.

In the field, in order to determine if the biodegradable mulch film are a good substitute to the conventional ones were monitored two complete cycles of the muskmelon culture. Beyond the productivity and fruit quality the impact of each plastic in the soil moisture and temperature were assessed. A meteorological station was also installed at the test site to determine the typicality of the monitored years. The soil chemical characteristics were also followed over time after the bio-mulch film plowing. For that reason, composite soil samples were collected through the experimental field trials for further analysis at different periods, namely: at the BMF plowing day, one, two, three and four months after plowing.

Taking into account that there are no reported biodegradation studies realized in Portugal, a laboratory trial were performed according to DIN EN ISO 17556 on the determination of the ultimate aerobic biodegradation of plastics. The method consists in using respirometric vessels where the carbon dioxide was measured indirectly by titration of a solution that retained the carbon dioxide released.

The field trials took place in Azeitada – Almeirim, in Ribatejo (2010 and 2011 years) and followed the traditional techniques and methodologies. The experimental design used were completely randomized. In the first year trial were monitored two modalities: the conventional polyethylene - PE (black, low density polyethylene mulch film with 25µm) and a biodegradable mulch film – BMF1 (black, starch-based mulch film - Mater-Bi™ with 15µm) with six replications of thirty plants per modality. In the second year were monitored four

modalities: the conventional polyethylene - PE (the same as the year before), a biodegradable mulch film – BMF1 (the same as the year before), a biodegradable mulch film – BMF2 (black, starch based mulch film – Mater-Bi with 15µm and recycled material from the use of the wastes of the biodegradable plastics production, suffering a new extrusion) and a biodegradable mulch film – BMFV (green, starch based mulch film) with three replications of twenty five plants per modality.

The biodegradable mulch films did not show significant differences in fruit productivity and quality. The biodegradation rate of the mulches tested was not as high as would be expected.

From the overall results obtained, biodegradable mulch films appear to be a good solution for the replacement of the conventional polyethylene mulches, however the R&D should continue to be done to improve their biodegradation rate.

AGROBIOFILM project was funded by the European Union's Seventh Framework Program (FP7/2007-2013) managed by REA – Research Executive Agency – under the grant agreement number 262257.

ÍNDICE

Agradecimentos.....	ii
Resumo.....	iii
Abstract.....	iv
Extended Abstract.....	v
Índice de tabelas e figuras.....	viii
Lista de Abreviaturas.....	ix
1. Introdução.....	1
2. Revisão Bibliográfica.....	3
2.1. A utilização de filmes plásticos na agricultura.....	3
2.1.1. Principais vantagens.....	3
2.1.2.Principais Inconvenientes.....	4
2.2. Tipos de filmes plásticos utilizados.....	4
2.2.1. Plásticos convencionais.....	4
2.2.2. Plásticos Degradáveis.....	5
2.2.2.1. Plásticos Biodegradáveis.....	5
2.2.2.1.1. O processo de biodegradação.....	6
2.2.2.2. Plásticos Oxo-degradáveis.....	7
2.2.3.Mater-Bi®.....	8
2.3. A cultura do Melão em Portugal.....	8
2.3.1. A utilização de filmes plásticos na cultura do melão.....	10
3. Materiais e Métodos. Resultados e Discussão.....	11
4. Conclusões.....	12
Bibliografia.....	13
Anexos.....	18

Índice de Tabelas e Figuras

Figura 1 – Ciclo de carbono de plásticos convencionais e plásticos biodegradáveis.....	6
Figura 2 – Fatores que afetam a Biodegradação de Bioplásticos.....	7
Tabela 1 - Temperaturas cardinais para a cultura do melão.....	9

Lista de Abreviaturas

PE	Polyethylene
BMF	Biodegradable Mulch Film
WVC	Water Volume Content
UV	Ultra Violeta
CO ₂	Dióxido de Carbono
Ba(OH) ₂	Bario hidroxide
°Brix	Grau brix, sólidos solúveis totais
°C	Graus Celsius
%	Porcentagem
mm	Milímetros
cm	Centímetros
mg	Miligramas
g	Gramas
mL	Mililitros
w/m ²	Watt por metro quadrado
SNIRH	Sistema nacional de informação de recursos hídricos
SEA	Secretaria de estado da agricultura
GMO free	Livre de organismos geneticamente modificados

1. Introdução

Atualmente utiliza-se uma grande quantidade de filmes de cobertura de solo na produção agrícola. A aplicação deste tipo de plásticos confere inúmeras vantagens, tais como o aumento da precocidade e da produtividade das culturas (Lamont, 1999). Na Europa, a quantidade total de plásticos utilizados ronda as 700 000 toneladas por ano dando origem a 615 000 toneladas de resíduos plásticos (Bos *et al.*, 2008). De acordo com Graci (2008), o polietileno de baixa densidade (PE) é o plástico mais usado devido ao seu baixo custo, fácil manuseamento e às suas boas propriedades mecânicas, particularmente a elasticidade. A principal desvantagem decorrente da utilização de filmes plásticos na agricultura está relacionada com a manipulação dos resíduos e dos impactos ambientais associados (Moreno & Moreno, 2008).

Os problemas ambientais causados pela utilização destes plásticos de cobertura devem-se à contaminação destes com solo e restos vegetais, tornando assim o processo de reciclagem caro, demorado e economicamente insustentável (Kapanen *et al.*, 2008). A incineração também não pode ser considerada uma boa solução visto que esta emite gases tóxicos e provoca a corrosão das paredes interiores do incinerador (Kim *et al.*, 2000). A consequência da falta de soluções adequadas para o manuseamento dos resíduos plásticos provenientes da atividade agrícola tem levado à proliferação de aterros junto das explorações agrícolas ou à sua queima ilegal por parte dos agricultores (Graci *et al.*, 2008). A solução para ultrapassar os problemas resultantes da utilização do polietileno passa pelo desenvolvimento de tecnologias de reciclagem seguras e mais eficientes e pelo desenvolvimento de materiais facilmente reutilizáveis ou recicláveis e de materiais biodegradáveis (Bastoli, 1998). Os plásticos foto-degradáveis e biodegradáveis foram reconhecidos como uma solução para a substituição do polietileno no final dos anos 60 (Lamont, 1993).

Existem dois tipos de plásticos biodegradáveis, aqueles cuja estrutura química permite degradação enzimática direta (por exemplo amido ou celulose) e aqueles que sofrem foto-oxidação ou termo-oxidação quando expostos a radiação ultra violeta ou calor (Sivan, 2011). O amido é uma matéria-prima facilmente biodegradável pois deriva de milho e de outras espécies, sendo assim considerado um recurso renovável. Os plásticos biodegradáveis derivados do amido podem ser produzidos através da mistura deste com polímeros sintéticos (Gross & BhanuKalra, 2002). Mater-Bi™ é uma marca registada, de sucesso, que resulta da mistura de fibras sintéticas com amido (Bastoli, 1998). No presente estudo foram testados três plásticos biodegradáveis distintos, criados a partir de uma nova classe, não disponível comercialmente, de Mater-Bi™.

Neste trabalho pretendeu-se avaliar e comparar o desempenho dos plásticos biodegradáveis relativamente aos convencionais de polietileno. Para esse efeito foram monitorizados dois ciclos da cultura de melão (2010 e 2011) onde foram determinados a produtividade e qualidade dos frutos e o impacto dos diferentes plásticos na humidade e temperatura do solo. Tendo em conta que não existem estudos de biodegradabilidade realizados nas condições de solos Portuguesas, foi realizado um ensaio em laboratório seguindo a norma internacional DIN EN ISO 17556.

No capítulo 2 é efetuada uma breve revisão sobre a utilização de filmes plásticos de cobertura do solo na cultura do melão, principais vantagens, desvantagens, tipos de plásticos utilizados e algumas características da cultura do melão.

No capítulo 3, as metodologias, os principais resultados e a sua discussão são apresentados em formato de submissão a revista científica.

No capítulo 4 encontram-se as principais conclusões resultantes deste trabalho e perspectivas de futuros trabalhos.

No final do documento, em anexo, são apresentados com mais detalhe alguns resultados obtidos que não foram incluídos no artigo.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. A utilização de filmes plásticos na agricultura

A utilização e comercialização de plásticos para cobertura de solo teve início na década de 60 (Liakatas *et al.*, 1986). Desde a sua introdução que o uso destes plásticos tem vindo a intensificar-se devido às vantagens que trazem à produção agrícola. Atualmente na União Europeia são utilizados todos os anos cerca de 92 202 toneladas de filmes plásticos de cobertura, valor que corresponde apenas a 3,5 % do total mundial de 2 630 811 toneladas (comunicação pessoal: Rodrigues, 2010).

2.1.1. Principais vantagens

A utilização de filmes plásticos para cobertura de solo em culturas agrícolas apresenta várias vantagens, sendo as principais: uma maior produção, maior precocidade e um controlo mais eficiente das infestantes (Green *et al.*, 2003).

Os efeitos do uso de plásticos de cobertura na produtividade e precocidade das culturas devem-se principalmente ao aumento da temperatura do solo visto que a presença do plástico de cobertura modifica a quantidade de calor recebida e armazenada pelo solo. (Bonanno & Lamont, 1987). A temperatura na zona radicular provoca alterações no crescimento das plantas, nas trocas gasosas e na absorção de água e nutrientes (Díaz-Pérez, 2009).

A cor do plástico utilizado afeta a temperatura do solo que se encontra por baixo devido às propriedades térmicas deste em relação à radiação solar incidente. A maior condutividade térmica do solo em relação ao ar leva a que a maioria da energia absorvida pelo plástico seja transferida para o solo por condução (Lamont, 1999; Filippi *et al.*, 2011).

A presença do plástico de cobertura do solo afeta também a humidade no solo, pois reduz a perda de água por evaporação, isto origina uma maior uniformidade na humidade do solo e reduz a quantidade de água de rega necessária (Liakatas *et al.*, 1986). Uma maior humidade do solo tem implicações positivas na utilização da água pela cultura e nas reações do solo que controlam a disponibilidade de nutrientes e a fixação biológica de azoto. A cobertura do solo diminui também o risco de lixiviação de nutrientes e de erosão visto que durante chuvas fortes reduz a velocidade de infiltração da água (Ramakrishna *et al.*, 2006).

Um controlo eficiente das infestantes pode ser alcançado, se o filme cobrir totalmente o solo durante a maior parte da cultura (Minuto *et al.*, 2008), pois aquando da instalação da cultura as plantas partem em vantagem ao serem transplantadas, as infestantes ainda necessitam de radiação para germinarem. A germinação das infestantes é assim inibida visto que a

cobertura do solo com plástico de cor negra reduz a radiação transmitida (Ibarra *et al.*, 2001). Na entrelinha, as infestantes podem ser controladas através do uso herbicidas, de um corta-mato ou roçador, ou então da sacha na entrelinha (Lamont, 1993).

A cobertura do solo tem também impactos positivos na compactação do solo, permanecendo mais solto, friável e bem arejado. Nestas condições as raízes têm melhor acesso ao oxigénio e a atividade microbiana é melhorada (Graci *et al.*, 2008).

A existência do plástico de cobertura faz com que a fruta se apresente mais limpa, uma vez que fica em cima do plástico, não sendo contaminada com partículas de solo (Ham *et al.*, 1993).

2.1.2. Principais Inconvenientes

As desvantagens do uso do polietileno prendem-se principalmente com a sua origem em matérias-primas não renováveis e as consequências que advêm do facto de ser um resíduo difícil de tratar e eliminar (Moreno & Moreno, 2008). Existe um grande desajuste entre o curto período de tempo durante o qual as culturas necessitam do plástico e a enorme longevidade que o polietileno tem no ecossistema (Martin-Closas *et al.*, 2008). No final das culturas o polietileno encontra-se muito contaminado com solo e resíduos vegetais transformando assim a reciclagem num processo caro e demorado e por isso mesmo inviável economicamente (Kapanen *et al.*, 2008). A incineração deste tipo de substâncias da origem a emissão de gases tóxicos e à corrosão das paredes interiores dos incineradores, não podendo desta forma ser considerada uma boa solução (Kim *et al.*, 2000). A consequência da inexistência de soluções adequadas para a eliminação dos resíduos plásticos leva à proliferação de aterros junto das explorações agrícolas ou à sua queima ilegal por parte dos agricultores (Graci *et al.*, 2008).

Para além dos problemas relacionados com a eliminação existe também o facto de a remoção do plástico do solo ser uma operação demorada e dispendiosa e de ficarem sempre resíduos de plástico mesmo que haja cuidado aquando da sua remoção.

2.2. Tipos de filmes plásticos utilizados

2.2.1. Plásticos convencionais

Como referido por Graci *et al.* (2008) o polietileno de baixa densidade é o plástico mais utilizado devido ao seu baixo custo, fácil manuseamento e boas propriedades mecânicas, particularmente a elasticidade. O polietileno é uma resina termoplástica obtida a partir do etileno polimerizado a altas pressões. É um material flexível, impermeável e inalterável à água, não apodrece nem é atacado por microrganismos (Valenzuela & Gutiérrez, 1999).

2.2.2. Plásticos Degradáveis

Os plásticos degradáveis são projetados para sofrerem modificações na estrutura química sob determinadas condições, resultando na perda de algumas propriedades. Não é necessário que estes sejam degradados por microrganismos (biodegradados) (Briassoulis & Dejean, 2010).

Os termos biodegradável, oxo-degradável, oxo-biodegradável e outros são utilizados frequentemente na caracterização de plásticos. Torna-se assim importante distingui-los.

2.2.2.1. Plásticos Biodegradáveis

Plásticos biodegradáveis são plásticos cujo processo de degradação resulta da ação natural de microrganismos tais como bactérias, fungos e algas, cumprindo determinadas especificações. Os plásticos biodegradáveis decompõem-se naturalmente pela ação de microrganismos, na presença de oxigénio, em dióxido de carbono, sais minerais e biomassa microbiana. Os pedaços de plástico biodegradável que ficam no solo sofrem um processo de biodegradação completo não deixando resíduos e sem qualquer impacto ambiental (Briassoulis, 2007).

Atualmente ainda não existe uma norma europeia que regule a biodegradação destes biopolímeros no solo, em condições reais (Briassoulis & Dejean, 2010).

Desde 2008 que as especificações standard são: ASTM D6400, ASTM D6868, ASTM D7081 (para EUA) ou EN 13432 (na UE). De acordo com estas normas, deve ser comprovado um nível de biodegradação superior a 90 % em menos de 6 meses. A especificação do tempo necessário para a biodegradação final é um requisito essencial para qualquer reclamação de biodegradabilidade (Agrobiofilm, 2012). Segundo Briassoulis (2007) a taxa de biodegradação aumenta quando a temperatura e humidade são mais elevadas. O oxigénio e a humidade são os fatores que mais afetam o desenvolvimento dos microrganismos responsáveis pela biodegradação dos plásticos no solo.

No início da utilização de plásticos biodegradáveis o principal problema da sua utilização estava relacionado com a sua degradação prematura ou demasiado tardia (Lamont, 1999). Para que a utilização de plásticos biodegradáveis tenha sucesso é necessário que a sua durabilidade esteja ajustada ao ciclo da cultura, pois não deve comprometer a cobertura de solo nem permanecer sem que se degrade no final da cultura (Giacomelli *et al.*, 2000).

Na Figura 1 pode observar-se a grande diferença no ciclo de carbono de plásticos biodegradáveis e de plásticos derivados de combustíveis fósseis. É notório que o ciclo de

vida dos plásticos biodegradáveis é 100 000 vezes inferior ao dos convencionais. Isto mostra a grande vantagem ambiental do uso destes novos materiais plásticos.

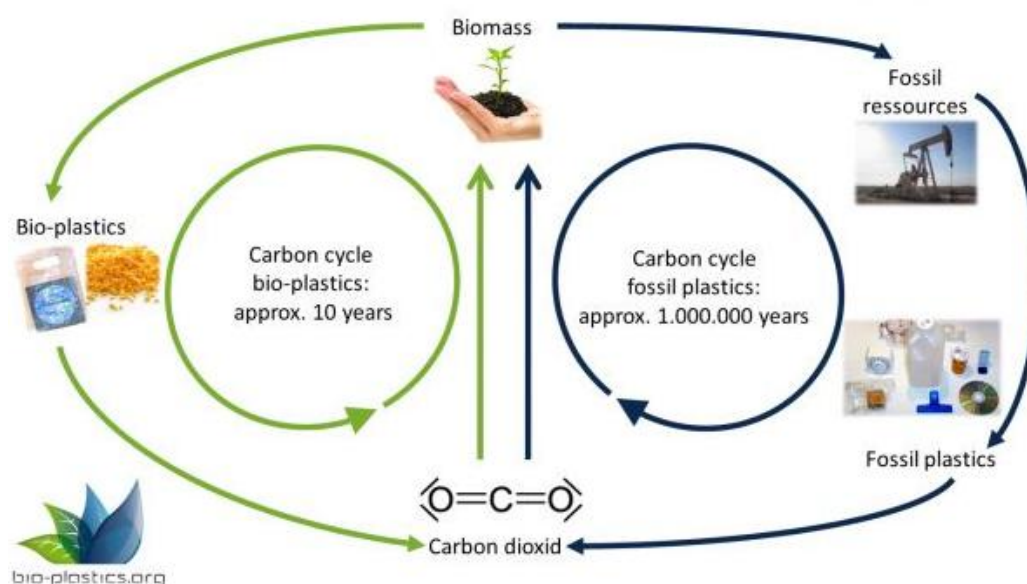


Figura 1 – Diferença de tempo no ciclo do carbono de plásticos convencionais e plásticos biodegradáveis (Fonte: Bio-Plastics).

2.2.2.1.1. O processo de biodegradação

Para que o processo de biodegradação ocorra é necessário incorporar o plástico de cobertura biodegradável juntamente com os resíduos da cultura no final do ciclo produtivo. Durante a incorporação o plástico é cortado em pedaços, o que facilita a sua degradação através do aumento da sua área superficial. Quanto menores os pedaços mais rápido será o processo de biodegradação.

No decorrer do processo de biodegradação existem duas etapas principais: a degradação/fragmentação e a biodegradação. Devido à dimensão dos polímeros que constituem o plástico é necessário que estes sejam divididos nos seus monómeros, para que possam ser absorvidos e biodegradados. A degradação/fragmentação inicial pode ser resultado de diversos fenómenos físicos e biológicos (Swift, 1997). Fenómenos como o aquecimento/arrefecimento, congelamento/descongelamento ou o humedecimento/secagem podem causar danos físicos, tais como a quebra dos polímeros (Kamal & Huang, 1992). Alguns polímeros sintéticos são despolimerizados através de enzimas microbianas, sendo os monómeros depois absorvidos e degradados dentro das células microbianas (Goldberg, 1995). Na presença de oxigénio os plásticos de cobertura biodegradáveis são

maioritariamente degradados por microrganismos aeróbios, restando no final massa microbiana, dióxido de carbono e água como produtos finais (Barlaz *et al.*, 1989).

Existem vários fatores que afetam a degradação (Figura 2), tais como as características do polímero, o tipo de organismos presentes e o tipo de pré-tratamento. A biodegradação pode ser afetada também pela foto-degradação pois a divisão da cadeia principal do polímero origina moléculas de plástico de menor divisão, estas podem ser mais facilmente hidrolisadas ou utilizadas pelos microrganismos (Osawa, 1992; Schnabel, 1992).

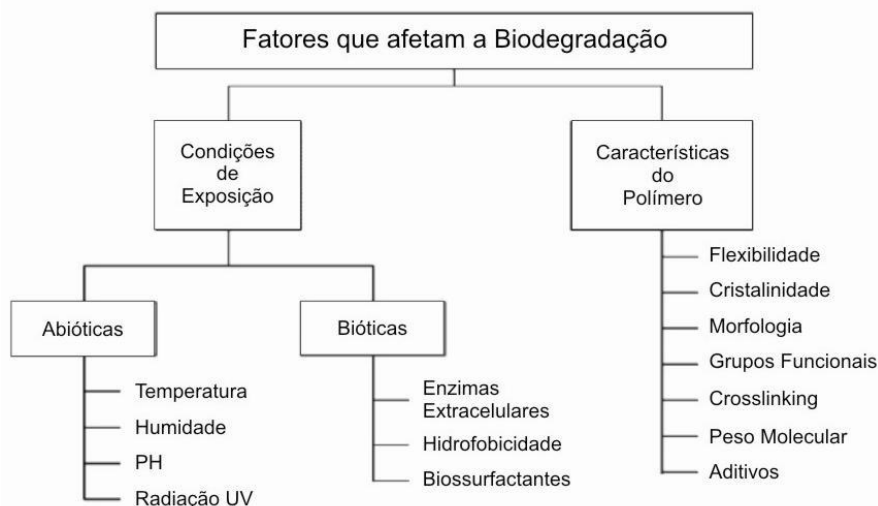


Figura 2 – Fatores que afetam a Biodegradação de Bioplásticos

(Adaptado de: Kijchavengkul *et al.*, 2008)

2.2.2.2. Plásticos Oxo-degradáveis

Os plásticos oxo-biodegradáveis ou oxo-degradáveis tem como base a adição de aditivos pró-oxidantes ao polietileno (López-Martin *et al.*, 2010). O principal efeito da oxidação é a fragmentação do plástico em pequenas partículas, permanecendo estas no ambiente por um tempo indeterminado tornando incontável a sua eliminação. A fragmentação do plástico deve-se à adição de aditivos baseados em catalisadores químicos contendo metais de transição tais como cobalto, manganês e ferro ou em materiais biológicos que provocam a fragmentação como resultado de uma oxidação química das cadeias de polímeros dos plásticos, desencadeada pela radiação ultravioleta ou pela exposição ao calor.

A fragmentação dos plásticos oxo-degradáveis é fruto de uma reação química e não de um processo de biodegradação, deste modo os fragmentos resultantes permanecerão no ambiente. A fragmentação apenas torna contaminantes visíveis (como sacos de plástico) em contaminantes invisíveis (pequenos fragmentos de plástico). Este tipo de plásticos aparenta ser pior do ponto de vista ambiental pois enquanto o polietileno convencional não sofre

alterações e pode ser retirado do meio ambiente, os fragmentos microscópicos de plásticos oxo-degradáveis são impossíveis de controlar e recolher (Agrobiofilm, 2012).

A reciclagem não se apresenta como uma boa solução para este tipo de plásticos, devido à presença na sua estrutura química de compostos que afetam a sua estabilidade, visto que estes podem comprometer a estabilidade dos produtos de materiais reciclados, dificultando a sua aceitação e reduzindo o valor dos produtos reciclados (European Bioplastics, 2009).

2.2.3. Mater-Bi™

Mater-Bi™ é uma marca italiana registada, de sucesso, que resulta da mistura de fibras sintéticas com amido (Bastoli, 1998). Este material é obtido através da rutura da estrutura de amido e da sua reordenação, com formação de complexos entre amilose e moléculas naturais. Estes complexos formam uma estrutura que aumenta a resistência à água e que provoca alterações nas características da molécula original de amido (Graci *et al.*, 2008).

A biodegradação de produtos com origem em Mater-Bi™ foi certificada por várias organizações, de acordo com as normas standard internacionais (EN 13432, DIN 54900, UNI 10785). A não-toxicidade e a compostabilidade foram também certificadas através de testes de eco-toxicidade levados a cabo com plantas e animais. O amido de milho utilizado no fabrico da matéria-prima Mater-Bi™ não sofre qualquer tipo de alteração ao nível do ADN, não sendo utilizado em todo o processo de fabrico qualquer organismo geneticamente modificado. Os plásticos biodegradáveis utilizados neste trabalho encontram-se certificados como *GMO free* (Agrobiofilm, 2012)

2.3. A cultura do Melão em Portugal

O meloeiro (*Cucumis melo* L.) teve origem na África Central e é uma das espécies com maior importância na família das cucurbitáceas. É uma espécie herbácea anual, com um sistema radicular aprumado e superficial, os caules apresentam crescimento prostrado com consistência herbácea. O fruto é um pepónio e apresenta forma esférica a ovoide ou alongada e coloração variável, a maioria das cultivares é andromonóica necessitando da ação de agentes externos para a polinização (Almeida, 2006)

De acordo com o Instituto Nacional de Estatística (2011) a produção de melão em Portugal ocupou 1852 ha (6 % da área total utilizada para hortícolas) com uma produção de 42 442 toneladas, correspondendo a 5,5 % do total de hortícolas produzidas no ano de 2011.

Em Portugal as variedades mais comuns são: Branco do Ribatejo, Pele de Sapo, Tendral e Casca de Carvalho. As principais zonas de produção localizam-se no Alentejo (Moura, Beja

e Elvas), no Ribatejo e Oeste (Vila Franca de Xira, Almeirim, Alpiarça), no Algarve (sobretudo na campina de Faro e Olhão) e ainda, com menor expressão, na região de Entre Douro e Minho. A variedade mais comum é o Branco do Ribatejo (Observatório Agrícola, 2012).

O melão Branco do Ribatejo caracteriza-se pela casca geralmente de cor esbranquiçada, fruto redondo a ovalado com tamanho médio a grande. A variedade utilizada neste trabalho foi o híbrido F1 – Lusitano, que se caracteriza pelo elevado vigor e pela boa cobertura foliar dos frutos, sendo a casca esbranquiçada tal como a polpa, apresentando um peso médio de 3 kg (Cordeiro, 2011).

As raízes alcançam profundidades à volta de quarenta a cinquenta centímetros e desenvolvem-se rapidamente, a rega excessiva causa uma perda de qualidade e sanidade das plantas e frutos (Zeng *et al.*, 2009). O stress hídrico deve também ser evitado pois este causa o rachamento dos frutos e afeta negativamente o crescimento da planta e a sua produtividade (Ribas *et al.*, 2000). A quantidade de água no solo e a sua distribuição afetam diretamente a qualidade do fruto (Zeng *et al.*, 2009).

A cultura do melão apresenta grandes necessidades de calor e radiação solar, sendo que a temperatura do solo influencia a capacidade de absorção de nutrientes (Stoltzfus *et al.*, 1998). As temperaturas cardinais para a cultura de melão encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1 - Temperaturas cardinais para a cultura do melão (Almeida, 2006)

		Temperatura (°C)
Germinação	Mínima	12
	Ótima	24 - 32
	Máxima	39 – 45
Vegetação	Mínima	12
	Ótima	18 – 24
	Máxima	40
Floração	Ótima	20 – 23
Polinização	Mínima	18
	Ótima	20 – 21
Maturação dos frutos	Ótima	25 – 30
Temperatura do solo	Mínima	8 – 10
	Ótima	20 – 25
	Máxima	40

2.3.1. A utilização de filmes plásticos na cultura do melão

A utilização de filmes plásticos de cobertura na cultura do melão apresenta várias vantagens. Os meloeiros que utilizam filmes plásticos de cobertura apresentam valores mais elevados de biomassa vegetal, área foliar e crescimento relativo (Ibarra *et al.*, 2001). Estes dados são confirmados por Quezada *et al.* (2000) e por Incalcaterra *et al.* (2004) que verificaram um maior tamanho das folhas e um maior número de folhas por planta.

A produção precoce e total, na cultura de melão, está diretamente correlacionada com a temperatura do solo e não com a temperatura do ar. O uso de plástico de cobertura provoca assim uma maior precocidade e produtividade da cultura através do aumento da temperatura do solo (Ibarra *et al.*, 2001).

A cobertura de solo apresenta-se assim como um fator determinante para a rentabilização da cultura pois fornece as condições ideais para o desenvolvimento da planta. Isto é conseguido através do combate das infestantes, manutenção de boas condições de arejamento, aumento da temperatura do solo e maior manutenção da humidade e evita também o contacto direto entre o fruto e o solo reduzindo o risco de podridões.

O plástico negro faz com que a temperatura a 5 cm de profundidade seja superior em média 2,8 °C quando comparada com o solo nu, o plástico transparente é o que mais aquece o solo a 5 cm, podendo mesmo chegar aos 8 °C mas não faz o controlo das infestantes, o plástico verde é o que melhor controla as infestantes e o aumento da temperatura do solo a 5 cm situa-se entre o preto e o transparente (Lamont, 1999; Incalcaterra *et al.*, 2004).

3. Materiais e Métodos. Resultados e Discussão

Os capítulos referentes aos materiais e métodos, resultados e discussão são apresentados nas páginas seguintes em formato de artigo, já publicado na revista científica Basic Research Journal of Agricultural Science and Review (BRJASR).

Full Length Research Paper

The use of biodegradable mulch films in muskmelon crop production

Artur Saraiva¹, Raquel Costa, Lopo Carvalho, Elizabeth Duarte

Unidade de Investigação de Química Ambiental, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa

*Corresponding author: artursaraiva@hotmail.com; Tel: +351 213 653 425

Accepted 29 October, 2012

Due to the large amount of mulch films used in agricultural crops and to all the environmental problems related with their disposal, the biodegradable mulch films seems to be the best solution for replacing the conventional polyethylene mulches. The main goal of this work was to evaluate and compare the performance of biodegradable mulch films with the conventional polyethylene ones in muskmelon culture during two years. Beyond fruit productivity and quality, the impact of each plastic in the soil moisture and temperature were also assessed. Taking into account that there are no reported biodegradation studies realized in Portugal, it was also important to verify the biodegradability of this new mulch films under the Portuguese soil conditions. The biodegradable mulch films did not show significant differences in fruit productivity and quality. The biodegradation rate of the mulches tested was not as high as would be expected. From the overall results obtained, biodegradable mulch films appear to be a good solution for the replacement of the conventional polyethylene mulches, however the Research and Development should continue to be done to improve their biodegradation rate.

Keywords: soil mulching, biodegradation test, bio-mulch film, polyethylene, sustainability, muskmelon.

INTRODUCTION

Currently there is a great amount of mulch films being used on crop production systems. The utilization of this kind of plastic films in agriculture has several advantages, like increased earliness and yield of the culture (Lamont, 1999). In Europe, the total amount of plastic used in agriculture per year is about 700 000 tons and from all that quantity used, 615 000 tons ended up as agricultural plastic waste (Bos et al., 2008). As Graci (2008) reported, the low density polyethylene (PE) is the most used due to its low cost, easy handling and excellent mechanical properties, particularly by its elasticity. The main negative consequence of using plastics in agriculture is related to their waste handling and the associated environmental impacts (Moreno and Moreno, 2008).

Mulch films waste causes environmental problems because it's very contaminated with soil and vegetal residues, turning the recycling process expensive and time consuming, being an uneconomic activity (Kapanen et al., 2008). Incineration cannot be considered a good solution because it produces emissions of toxic gases and corrodes the interior walls of the incinerator (Kim et al., 2000). The consequence from the lack of solutions to the disposal of mulch films waste, leads to uncontrolled

proliferation of landfills near the farms or the illegal burning by farmers (Graci et al., 2008).

The introduction of biodegradable mulch films (BMF) represents a really promising alternative to the common polyethylene mulches, a real challenge for enhancing sustainable and environmentally friendly agricultural activities. These biodegradable mulch films have the advantage of being disposed directly into the soil or into a composting system at the end of their lifetime (Moreno and Moreno, 2008) and undergo biodegradation by soil microorganisms. As reported by Kyrikou and Briassoulis (2007) the degradation of these materials is gradual and cannot be easily controlled, is therefore very important to study the actual biodegradation rate of these new materials.

The biodegradable polymers have two different formulations, those which the chemical structure enables direct enzymatic degradation (e.g. starch or cellulose) and those that undergo photo-oxidation or thermo-oxidation upon exposure to UV light or heat (Sivan, 2011). Starch is an environmental friendly material as it is a renewable resource derived from corn and other crops. Starch-based mulches can be produced by blending or

Table 1. Soil characteristics from the local of the field trials.

pH	5.9
Conductivity	3.12 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Carbon	0.63 %
Dry matter	93 %
Density	1.45 g/cm^3
Water holding capacity	0.17 g/g

Table 2. Mulch codes and main characteristics.

Treatment	Trial	Mulch Code	Thickness(μm)	Colour	Characteristics
PE	1 st and 2 nd	PE	25	Black	Low density polyethylene
BMF1	1 st and 2 nd	Agrobiofilm 15B Lot1	15	Black	starch based mulch film
BMF2	2 nd	Agrobiofilm 15B Lot2	15	Black	starch based mulch film with recycled material
BMFG	2 nd	Agrobiofilm 15G Lot1	15	Green	starch based mulch film

mixing them with synthetic polymers (Gross and Kalra, 2002). Mater-Bi trademark is a successful result of blending the synthetic component with starch (Bastoli, 1998). For this study we tested three different biodegradable mulch films, which were extruded with a new grade from Mater-Bi™, not commercially available.

The main goal of this work was to evaluate and compare the performance of the bio-mulch films against the conventional polyethylene ones. Two complete cycles of muskmelon (*Cucumis melo* var. *inodorus*) were followed (2010 and 2011) and were assessed the fruit productivity, fruit quality and the impact of the different mulches in the soil moisture and temperature. Taking into account that there are no reported biodegradation studies realized in Portuguese soil conditions, a laboratorial trial was made according to DIN EN ISO 17556.

MATERIALS AND METHODS

Experimental field – soil and climate conditions

The field trials took place in Azeitada – Almeirim (Latitude: 39° 09' 35N; Longitude: 8° 40' 24W), in the Ribatejo region and were performed by one member of "Hortofrutícolas Campelos,SA".

The soil from the test site is an old fluvisols (SEA, 1997) and was analyzed in order to verify its main characteristics, which are shown in Table 1.

According to Köppen's climate classification the climate in this area is temperate with dry and hot summer and wet winter – Csa (Instituto de Meteorologia, 2011).

For the monitoring of meteorological conditions, in order to verify the typicality of the trial years, a meteorological station was placed in the field.

The meteorological station probes were measuring the

following parameters, at intervals of 5 minutes: air temperature ($^{\circ}\text{C}$), relative humidity (%), solar radiation (W/m^2) and rainfall (mm).

A data logger from Campbell Scientific (model CR1000) was used for data gathering and storage.

The validation of the typicality of the trial years was made by comparing the average of the last eight years (2002-2009) with the years under study.

Due to delay in probes delivery, they were only placed at 09 of July of 2010, so the data used for the first months of the crop cycle was from two nearby meteorological stations, from the National Information System for Hydraulic Resources (SNIRH, 2012).

Experimental design and set-up

Mulches

Different types of mulch films were used within the field trials, three biodegradable mulch films (BMF) made from a new Mater-Bi™ grade and a low density polyethylene mulch film (PE). The main characteristics of the tested mulches are described in the Table 2.

First trial – 2010

For the 1st cycle of the muskmelon trial two treatments were monitored (PE and BMF1), five rows of each treatment were stretched, being only the three inner lines considered for each film trial. Six plots of ten meters length were selected for monitoring purposes. For each treatment were monitored 180 plants, 30 per plot (repetition). The irrigation was done by drip tape, applied under the mulch films.

Fruit productivity and fruit quality

For the evaluation of fruit productivity all the fruits from the plots were counted and weighted and for the evaluation of the fruit quality, the sugar content ($^{\circ}\text{Brix}$) was measured in the field with a portable refractometer on three random fruits per treatment. Fruit harvesting was performed four different times along the crop cycle and the fruit quality analysis was made only at the second harvest.

Soil temperature and water volume content

In order to monitor the differences in soil temperature and water volume content (WVC) caused by the utilization of the different mulches, "Decagon 5TM" probes were buried in the soil under the tested mulch films. One soil probe was placed per row of each mulch film at a depth of 20 cm (three probes per mulch film). For WVC, the probes have a resolution of 0.08 % and accuracy: $\pm 1\text{-}2\%$, in any porous medium. For temperature, the resolution is $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ and the accuracy $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

The irrigation period started at the beginning of May and ended at the middle of August 2010, the soil temperature and WVC measurements started on July 10, 2010 and ended on August 31, 2010.

Soil monitoring

The impact that the bio-mulch films may have in the soil is one of the most important features to be evaluated, once the use of these new materials in agriculture should not compromise, either the environment, or the following crop cycles.

To proceed with this evaluation, the soil chemical characteristics were followed over time after the bio-mulch film plowing. For that reason, composite soil samples were collected through the experimental field trials for further analysis at different periods, namely: at the BMF plowing day, one, two, three and four months after plowing. The main analysis performed on the composite soil samples were: $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$, $\text{pH}(\text{KCL})$, conductivity, total organic carbon, nitrogen, potassium, phosphorus and calcium content. The cation exchange capacity and the base saturation were also analyzed.

Second trial – 2011

For the 2nd cycle of the muskmelon trial four treatments were monitored (PE, BMF1, BMF2 and BMFG), three rows of each treatment were stretched and a plot (repetition) of 25 plants was marked in each row. For each treatment 75 plants were monitored, three plots of 25 plants per treatment. The irrigation was done by drip

tape, applied under the mulch films.

Fruit productivity and fruit quality

For the evaluation of crop productivity five harvests were performed along the crop cycle, in which all the fruits of each plot were counted and weighted. For the evaluation of the fruit quality, the sugar content ($^{\circ}\text{Brix}$) was measured in the field with a portable refractometer on three fruits randomly chosen in each treatment. The fruit quality test was only performed in the first, third and fifth harvest.

Soil temperature and water volume content

In order to monitor the possible differences in soil temperature and water volume content (WVC) due to the utilization of the different mulches, "Decagon 5TM" probes were buried in the soil under the tested mulch films. Two soil probes were placed in each treatment at a depth of 20 cm (two probes per mulch film). Due to technical problems with some probes the BMF2 treatment has no data for the first month of trials. For volumetric water content, the probes have a resolution of 0.08 % and accuracy: $\pm 1\text{-}2\%$, in any porous medium. For temperature, the resolution is $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ and the accuracy $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

The irrigation period started at the beginning of April and ended at the beginning of July 2011, the soil temperature and WVC measurements started on April 1, 2011 and ended on July 31, 2011.

Laboratorial biodegradation test

To evaluate the biodegradability of the mulch films under study, a respirometric test was performed under controlled conditions, using as inoculum the agricultural soil from the testing site. The test was made according to DIN EN ISO 17556, being the amount of CO_2 released measured to determine the ultimate aerobic biodegradation of the biodegradable mulch film.

In glass flasks of 1000 mL was introduced 200 g of soil at 50 % of water retention capacity, 200 mg of mulch or cellulose cut into pieces of 5x5 mm and a container with a $\text{Ba}(\text{OH})_2$ solution for retaining the CO_2 released. The flasks were opened regularly, according to the amount of CO_2 released, allowing aeration and replacement of the $\text{Ba}(\text{OH})_2$ solution. The amount of CO_2 released was measured indirectly by titration of the $\text{Ba}(\text{OH})_2$ solution.

In this test was used an additional empty flask to determine the amount of CO_2 present in the air that enter into the flasks during the aeration period. The flasks were kept in controlled conditions at $20\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

The experimental design followed was:

Table 3. Field operations schedule in the 1st year of field trials.

Bed + Mulching	Plantation	Harvesting	BMF plowing + PE removal
28-04-2010	28-04-2010	07-07-2010 to 31-08-2010	14-10-2010

Table 4. Muskmelon fruit productivity and quality between both treatments.

Treatment	Average Fruit Weight (Kg)	Yield (ton/ha)	Non Marketable (%)	Brix (°)
PE	2,93 ^a ± 0,11	35,60 ^a ± 9,15	22 ^a ± 8,58	10,10 ^a ± 1,60
BMF1	2,75 ^b ± 0,03	32,62 ^a ± 5,34	23 ^a ± 4,86	8,69 ^a ± 0,89

For the same category, averages followed by the same letter are not significantly different at $\alpha=0,05$

Two test flasks for the test material (soil + BMF)

Two flasks for the blank (only soil)

Two flasks for checking the activity of the soil using a reference material as positive control (soil + cellulose)

Two flasks with a non-biodegradable material used as negative control (soil + PE).

Statistical analysis

Data were subjected to analysis of variance and the difference between means was determined following the Tukey procedure.

RESULTS AND DISCUSSION

Experimental field – soil and climate conditions

In 2010 it was verified that the rain was 20 % less when comparing with the average of eight years before and that it mainly occurred in the first four months of the year. This provoked some differences in the air relative humidity too. It's important to notice that the rainfall variability along the last eight years showed an unpredictable behavior, so the rainfall from the 2010 year cannot be considered different from the eight years before as it was not the lowest. The air temperature and solar radiation showed a good correlation with the previous years.

In 2011 a decrease of 50 % was verified on the rainfall quantity, however due to the rainfall variability this cannot be considered different from the eight years before. This has led to some differences in the air relative humidity too. As said in last paragraph, these differences cannot be considered important as the 2007 year was still less rainy. The air temperature and solar radiation showed a good correlation with the previous years.

First trial – 2010

For the 1st cycle of the muskmelon field trial two treatments were monitored (PE and BMF1), being the field operations schedule described in the Table 3. The equipments and cultural practices were the same for both treatments. In this trial, the soil disinfection was not performed attending to the meteorological conditions in this year.

Fruit productivity and fruit quality

At the end of the crop cycle no significant differences were verified in terms of total fruit productivity between the different mulch types, which are in accordance with the results from Lopes et al. (2007), where the use of BMF also did not influenced the productivity when comparing to PE mulch films. Although, there was a difference in the average fruit weight, PE fruits weight 180 g more than BMF1 ones.

In terms of fruit quality there were also no significant differences between the mulch types. The reported results are shown in the Table 4.

Soil temperature and water volume content

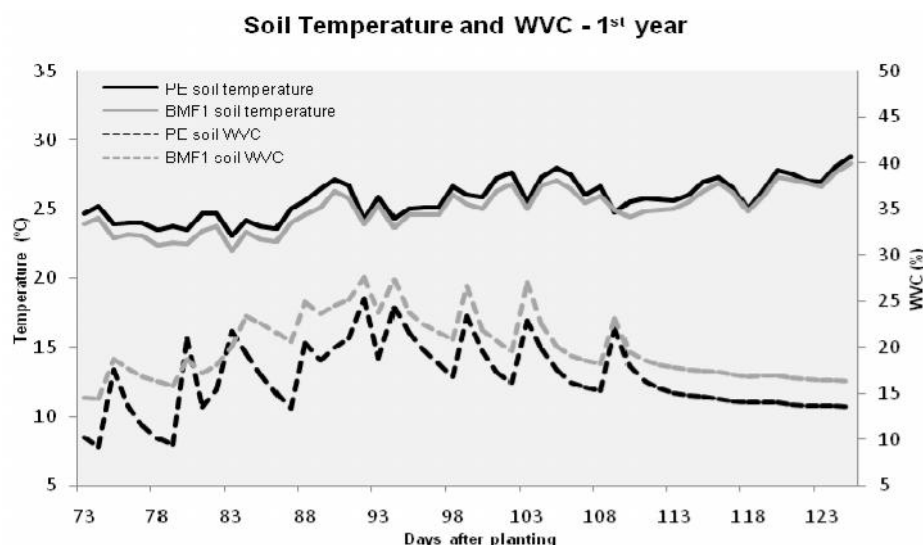
Soil temperature and WVC under the different plastic films showed some differences. The temperature of the soil under the BMF1 treatment was around 0.7 °C lower and the WVC was around 3.3 % higher. The results are shown in the Table 5.

When comparing biodegradable and polyethylene mulch films with the same color, it is expected to found higher soil temperatures under PE, because BMF higher permeability (Weber, 2003) will promote a greater soil water vapor transfer through BMF (Magnani et al., 2005),

Table 5. Average soil temperature and WVC during the 1st year of field trials.

Treatment	Temperature(°C)	Soil Water Content (%)
PE	25,7 ^a ± 1,4	16,6 ^a ± 3,8
BMF1	25,0 ^b ± 1,5	19,9 ^b ± 3,5

For the same category, averages followed by the same letter are not significantly different at $\alpha=0,05$

**Figure 1.** Soil Temperature and WVC during the 1st year trial (based on 14 976 measurements)**Table 6.** Field operations schedule in 2nd year of field trials.

Bed + Mulching	Soil disinfection	Plantation	Harvesting	BMF plowing + PE removal
01-04-2011	07-04-2011	01-04-2011	13-06-2011 to 06-07-2011	24-10-2011

leading to a decrease in the soil temperature. Due to this BMF physical characteristic it was also expected that the soil under PE would have higher WVC, but this was not verified in the field trials (Table 5). Further study should be made to understand the effects of the higher BMF permeability. In Figure 1, the soil temperature (°C) and WVC (%) daily averages are showed until the last harvest day. The measurements only started at day 73 due to the probes delay referred in materials and methods.

Soil monitoring

All the analysis made where not conclusive as the, natural, spatial variability turnout more significant than any change made by the bio-mulch film biodegradation. A study should be conducted in controlled conditions to verify if there are some changes in the soil characteristics made by the biodegradation of the BMF.

Second trial – 2011

For the 2st cycle of the muskmelon field trial four treatments were monitored (PE, BMF1, BMF2 and BMFG), being the field operations schedule described in the Table 6. The equipments and cultural practices followed were the same for all treatments.

Fruit productivity and fruit quality

Total fruit productivity on the 2nd year of field trials showed no significant differences between the mulch film treatments under study, which are in accordance with the results from Lopes et al. (2007), were the use of BMF also did not influenced the productivity when comparing to PE mulch films.

From the fruit quality evaluation also no significant differences were verified between the different mulch

Table 7. Muskmelon fruit production and fruit quality between PE, BMF1, BMF2 and BMFG.

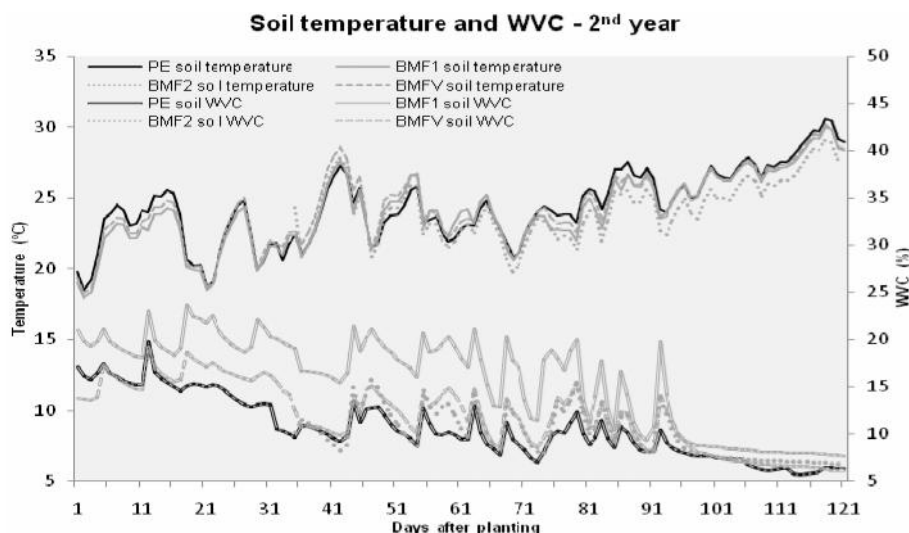
Treatment	Average Fruit Weight (Kg)	Yield (ton/ha)	Non Marketable (%)	Brix (°)
PE	2,72 ^a ± 0,15	23,40 ^a ± 3,57	138 ^a ± 72,27	11,41 ^a ± 1,88
BMF1	2,87 ^a ± 0,53	21,32 ^a ± 2,53	138 ^a ± 42,45	12,12 ^a ± 2,39
BMF2	2,88 ^a ± 0,14	20,49 ^a ± 2,80	56 ^a ± 24,98	11,78 ^a ± 2,00
BMFG	2,51 ^a ± 0,24	23,24 ^a ± 2,14	134 ^a ± 3,67	10,87 ^a ± 1,65

For the same category, averages followed by the same letter are not significantly different at $\alpha=0,05$

Table 8. Average soil temperature and WVC during the 2nd year of field trials.

Treatment	Temperature(°C)	Soil Water Content (%)
PE	24,4 ^a ± 2,6	10,6 ^a ± 3,3
BMF1	24,1 ^a ± 2,6	15,7 ^b ± 4,9
BMF2	24,3 ^a ± 2,1	10,0 ^a ± 2,5
BMFG	24,4 ^a ± 2,6	11,9 ^c ± 3,5

For the same category, averages followed by the same letter are not significantly different at $\alpha=0,05$

**Figure 2.** Soil temperature and WVC during the 2nd year trial (based on 34 848 measurements)

films used in the 2nd year of field trials. The reported results are shown in the Table 7.

It's important to notice that in the 2nd year of trial the fruit productivity was much lower compared with the 1st year and the non-marketable % was much higher, this was probably due to inappropriate use of phytopharmac that equally affected all the trial.

Soil temperature and water volume content

Regarding soil temperature there were no significant differences between the different treatments tested in the

2nd year. However in the case of WVC there were some interesting results. BMF1 showed the higher WVC (around 5.1 % more than the PE) and BMFG the second (around 1.3 % more than the PE). PE and BMF2 were the tested treatments with less WVC and showed no differences between them. These results are in accordance with the ones obtained during the 1st year of field trial. The BMF1 and BMFG have significant higher WVC when comparing to PE. The results are showed in the Table 8.

The soil temperature (°C) and WVC (%) daily averages from the beginning of the trial until the last harvest day are showed in Figure 2. The irrigation intervals can be

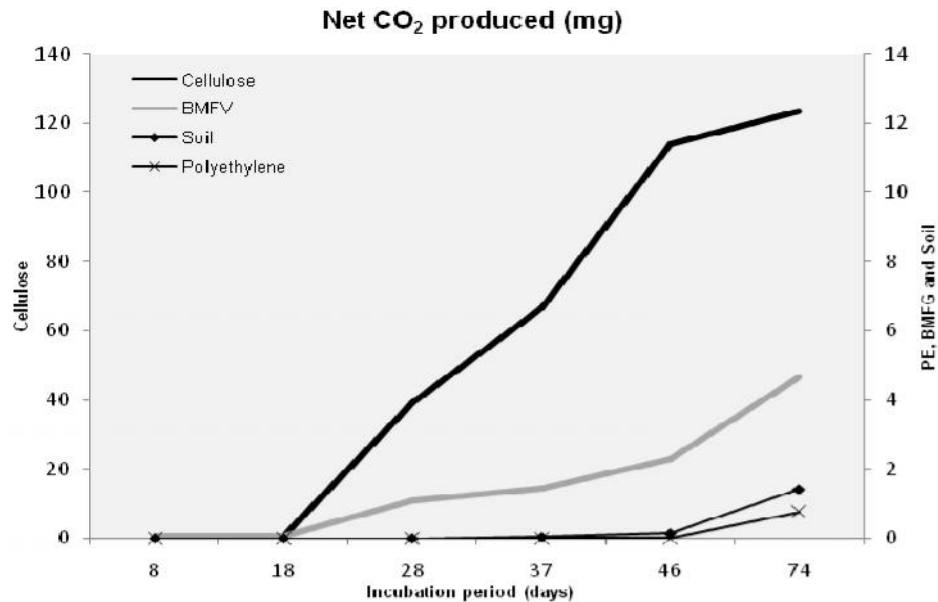


Figure 3. Net carbon dioxide produced during the respirometric test.

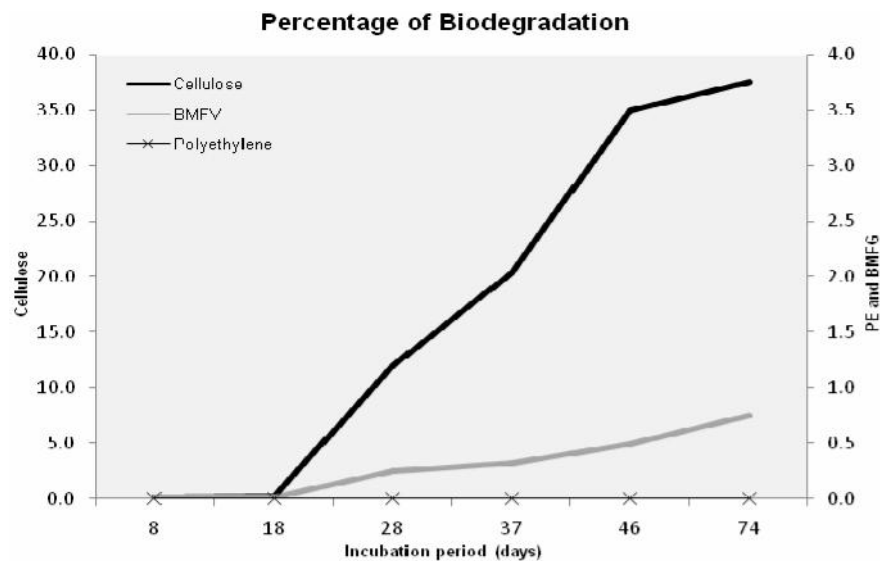


Figure 4. Percentage of biodegradation achieved during the respirometric test.

noticed by the increase of the soil WVC, followed by a decrease until the day of the next irrigation.

According the first and second year trials, the soil WVC under the BMF1 and BMFG were significantly higher than under PE, contradicting the results reported by Weber (2003). Further research should be made to understand the effects on soil WVC of mulches with higher permeability, as BMF, since these challenge the reported studies mentioned above.

Laboratorial biodegradation test

The amount of CO₂ released during the laboratory assay was indirectly measured by titration of the Ba(OH)₂ solution and the CO₂ accumulated along the time is represented on Figure 3. The percentage of biodegradation achieved by the BMF under study was calculated by applying the formulas in the standard (DIN EN ISO 17556), being the results showed on Figure 4.

By the analysis of the results shown in both figures 3 and 4, it can be observed that the 74 days of incubation period were not enough to allow cellulose reaching the plateau phase; the assay should be taken for longer periods. At the end of the incubation period cellulose was around 37 % degraded and the BMFG around 0.7 % (Figure 4).

The amount of carbon dioxide produced during the test shows that cellulose (positive control) was the highest producer, followed by the BMFG that come as second higher producer and the soil and PE (negative control) have both a similar low production yield. These results confirm the existence of microorganisms in the soil with capacity to biodegrade the BMF, but it also shows that the rate of biodegradation of this process is very low. One of the reasons for this slow process is probably related to the very low organic matter content of the soil (around 1 %).

When compared with the reported results of Barragán et al. (2010), these results show that the soil characteristics are a very important factor when analyzing the capacity to biodegrade of a bio-mulch film. Barragán et al. (2010) has also tested biodegradable mulch films made from Mater-Bi™ raw material, being noted that this study was carried out with a soil with a much higher amount of organic matter, around 3.9 %, that contributes to higher microorganism activity and consequent higher biodegradation rate. More tests should be made to validate the real time needed to achieve an acceptable degree of biodegradation to minimize the environmental impacts.

CONCLUSIONS

During the trials, climate conditions were typical and so the results obtained are valid for Mediterranean climate conditions. In the two years of muskmelon trials realised in this study, the biodegradable mulches showed not to compromise either the fruit productivity or fruit quality. The average soil temperature was similar in all treatments tested but in the first field trial it was slightly lower under BMF1, only 0.7 °C compared to PE. In terms of soil conditions, WVC under the biodegradable mulch films tested was always higher (except BMF2), contradicting the results reported by other authors.

On the laboratory biodegradation test the BMFG showed a good tendency to biodegrade but the biodegradation rate turnout to be very poor (0.7 % in 74 days), the incubation period should have been longer. When compared with Barragán et al. (2010) results, the biodegradation behaviour looks the same but with a lower rate, probably due to the low content of organic matter present in the soil (1 %).

All the cultural practices and machinery used in the field trials were the same for all treatments.

According to the results, the biodegradable mulch films appear to be a good solution to substitute the conventional polyethylene mulches, but further studies must be performed to validate the results obtained.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work has been carried out in the framework of the European research project FP7-SME-2010 "Development of enhanced biodegradable films for agricultural activities AGROBIOFILM"

REFERENCES

- Barragán H, Pelacho AM, Closas L, Martín (2010). A Respirometric Test for Assessing the Biodegradability of Mulch Films in the Soil. 28th International Horticultural Congress.
- Bastoli C (1998). Green Chemistry: Science and politics of change. *Polym. Degrad. Stab.* 59: 263
- Bos U, Makishi C, Fischer M (2008). Life cycle assessment of common used agricultural plastic products in the EU. *Acta Horticulturae*. 801: 341-350.
- Graci A, Luciano A, Zaragoza CL, Aibar JL (2008). Evaluación de alternativas al uso del polietileno como cubierta del suelo para el manejo de malas hierbas y otros aspectos agronómicos en el cultivo del tomate. Doctoral thesis. Universidad de Zaragoza.
- Gross RA, Kalra B (2002). Biodegradable Polymers for the Environment. *Science* vol.297 in.
- Instituto de Meteorologia, 2011 in <http://www.meteo.pt>.
- Kapanen A, Schettini E, Vox G, Itävaara M (2008). Performance and Environmental Impact of Biodegradable Films in Agriculture: A Field Study on Protected Cultivation. *J. Polym. Environ.* 16: 109-122.
- Kim M, Lee A, Yoon J, Chin I (2000). Biodegradation of poly (3-hydroxybutyrate), Sky-Green and Mater-Bi by fungi isolated from soils. *Euro. Polymer J.* 36: 1677-1685.
- Kyrikou I, Briassoulis D (2007). Biodegradation of Agricultural Plastic Films: A Critical Review. *J. Polym. Environ.* 15:125-150.
- Lamont WJ (1999). Vegetable Production Using Plasticulture. In <http://www.agnnet.org>.
- López J, González A, Fernández J A, Bañón S (2007). Behaviour of biodegradable films used for mulching in melon cultivation. *Acta Horticulturae*. 747: 125-130.
- Magnani G, Filippi F, Graifenberg A, Bertolacci M (2005). Valutazione agronomica di film biodegradabili per la pacciamatura. *Culture Protette*. 34: 59-68.
- Moreno MM, Moreno A (2008). Effect of different biodegradable and polyethylene mulches on soil properties and production in a tomato crop. *Scientia Horticulturae*. 116: 256-263.
- Secretaria de Estado da Agricultura (1977) – Serviço de reconhecimento agrário 1977 *Portuguese land use capacity charter-31A*
- Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (2012). in <http://www.snirh.pt>
- Sivan A (2011). New perspectives in plastic biodegradation. *Current Opinion in Biotechnology*. 22:422-426.
- Weber CA (2003). Biodegradable Mulch Films for Weed Suppression in the Establishment Year of Matted-row Strawberries. *HortTechnology*. v.13, n.4, pp. 665-668.

4. Conclusões

Durante os ensaios as condições climáticas verificadas foram típicas, tendo em conta os últimos anos, o que valida os resultados obtidos neste trabalho para os climas mediterrânicos. Durante os dois anos, da cultura de melão, monitorizados neste trabalho os plásticos de cobertura biodegradáveis mostraram não comprometer a produtividade ou a qualidade dos frutos. A temperatura média do solo foi semelhante em todas as modalidades testadas, excetuando no primeiro ano de ensaios em que o BMF1 apresentou uma temperatura ligeiramente menor (0,7 °C) em relação ao PE. Relativamente ao teor de humidade no solo, verificou-se que existe uma tendência para que a humidade seja mais elevada sob os plásticos biodegradáveis (excetuando o BMF2), o que contradiz os resultados publicados por outros autores.

No teste de biodegradação realizado em laboratório, o BMFG apresentou uma boa tendência de biodegradação mas a taxa de biodegradação foi muito baixa (0,7 % em 74 dias), o período de incubação deveria ter sido superior para permitir acompanhar a evolução da degradação. Quando comparado com os resultados de Barragán *et al.* (2010) verifica-se que a tendência de biodegradação apresentada é semelhante, mas com uma taxa de biodegradação mais baixa, provavelmente devido ao baixo teor de matéria orgânica presente no solo, utilizado no teste (1%).

Em todas as modalidades dos ensaios de campo, foram utilizados os mesmos equipamentos e as mesmas práticas culturais, não sendo necessários novos equipamentos ou procedimentos pelo facto de se trocar o polietileno por plásticos biodegradáveis.

De acordo com os resultados obtidos os plásticos de cobertura biodegradáveis aparentam ser bons substitutos do polietileno, mas devem ser realizados mais estudos de modo a validar estes resultados.

É importante que sejam realizados estudos mais aprofundados e prolongados acerca da biodegradabilidade destes novos plásticos, tanto no campo como em laboratório, de modo a averiguar qual a sua capacidade de biodegradação nas condições de solos e clima Portugueses.

Referências Bibliográficas

- Agrobiofilm (2012). <http://www.agrobiofilm.eu> acessado em 18/08/2012
- Almeida, D. (2006). *Manual de culturas hortícolas - Volume II*. Editorial Presença, Lisboa.
- Barlaz MA, Ham RK, Schaefer DM. (1989) Mass-balance analysis of anaerobically decomposed refuse. *J Environ Eng*; 115:1088–102.
- Barragán H., Pelacho A.M., Closas L. Martin (2010), *A Respirometric Test for Assessing the Biodegradability of Mulch Films in the Soil* - 28th International Horticultural Congress 2010
- Bastoli C. (1998), *Green Chemistry: Science and politics of change*, Polym. Degrad. Stab. 59, 263
- Bio-Plastics (2012), em <http://www.bio-plastics.org/en/information--knowledge-a-market-know-how/basics/what-are-bioplastics>, acessado a 15 de Outubro de 2012
- Bonanno, A. R., & Lamont, W. J. Jr. (1987). Effect of polyethylene mulches, irrigation method, and row covers on soil and air temperature and yield of muskmelon. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 112: 599-608.
- Bos, U., Makishi, C. & Fischer, M. (2008). Life cycle assessment of common used agricultural plastic products in the EU. *Acta Horticulturae*, 801: 341-350.
- Briassoulis D. (2007). Analysis of the mechanical and degradation performances of optimized agricultural biodegradable films. *Polymer Degradation and Stability* 92: 1115-1132.
- Briassoulis D. & Dejean C. (2010). Critical review of norms and standards for biodegradable agricultural plastics. Part I. Biodegradation in soil. *J. Polym. Environ.* doi 10.1007/s10924-010-0168-1.
- Cordeiro, Tiago (2011) Influência dos plásticos biodegradáveis na produtividade, precocidade e qualidade do melão “Lusitano” (*Cucumis melo* var. *inodorus*), Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, p14
- Díaz-Pérez, J. (2009). Root zone temperature, plant growth and yield of broccoli [Brassica oleracea (Plenck) var. italica] as affected by plastic film mulches. *Scientia Horticulturae* 123: 156-163.

- European Bioplastics (2009). "Oxo-biodegradable" plastics. Position paper.
<http://en.european-bioplastics.org> acedido em 15 de Março de 2012.
- Filippi, F., Magnani, G., Guerrini, S., & Ranghino, F. (2011). Agronomic evaluation of green biodegradable mulch on melon crop. *Italian Journal of Agronomy*, 6 e 18.
- Giacomelli G.A., Garrison S.A., Jensen M., Mears D.R., Paterson J.W., Roberts W.J., Wells O.S. (2000). Advances of Plasticulture Technologies 1977-2000. The 15th International Congress for Plastics in Agriculture, Hershey, PA.
- Goldberg D. (1995) A review of the biodegradability and utility of poly (caprolactone). *J Environ Polym Degrad*; 3:61–8.
- Graci, A., Luciano, A., Zaragoza, C. L., & Aibar, J. L. (2008). *Evaluación de alternativas al uso del polietileno como cubierta del suelo para el manejo de malas hierbas y otros aspectos agronómicos en el cultivo del tomate. "Tesis Doctoral"*. Universidad de Zaragoza.
- Green, D.S., Kruger, E. L. & Stanosz, G.R., (2003). Effects of polyethylene mulch in a shortrotation, poplar plantation vary with weed control strategies, site quality and clone. *Forest Ecol Manage* 173: 251-260. doi:10.1016/S0378-1127(02)00003-8.
- Gross Richard A. and BhanuKalra (2002), *Biodegradable Polymers for the Environment*, Science vol.297 2 em
http://www.poly.edu/grossbiocat/_doc/publication/SCIENCE%202002%20297%20803.pdf
 df acedido a 14 de julho de 2012
- Ham J.M., Kluitenberg G.J. & Lamont W.J. (1993). Optical properties of plastic mulches affect the field temperature regime. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 118: 188-193.
- Ibarra, L., Flores, J., & Díaz-Pérez, J. C. (2001). Growth and yield muskmelon in response to plastic mulch and row covers. *Scientia Horticulturae*, 87(1-2): 139-145.
- Incalcaterra, G., Sciortino, A., Vetrano, F., & Iapichino, G. (2004). Agronomic response of winter melon (*Cucumis melo inodorus* Naud.) to biodegradable and polyethylene film mulches, and to different planting densities. *Options Méditerranéennes. Série A : Séminaires Méditerranéens*, 60: 181-184.
- Instituto de Meteorologia (2011), em
http://www.meteo.pt/export/sites/default/bin/areaeducativa/clima/koppen_pt_cont_vrs1.2.jpg
 acedido a 4 de Setembro de 2012

Instituto Nacional de Estatísticas (2011), Estatísticas Agrícolas 2011 em <http://www.ine.pt>,
acedido em 8 de Setembro de 2012

Kamal MR, Huang B.(1992) Natural and artificial weathering of polymers. In: Hamid SH, Ami MB, Maadhan AG, editors. Handbook of Polymer Degradation. New York, NY: Marcel Dekker; p. 127–68.

Kapanen, A., Schettini, E., Vox, G., & Itävaara, M. (2008). Performance and Environmental Impact of Biodegradable Films in Agriculture: A Field Study on Protected Cultivation. *J Polym Environ* , 16: 109-122.

Kim, M., Lee, A., Yoon, J., & Chin, I. (2000). Biodegradation of poly(3-hydroxybutyrate), Sky-Green and Mater-Bi by fungi isolated from soils. *European Polymer Journal* , 36: 1677-1685.

Kijchavengkul T, Auras R, Rubino M, Ngouajio M, Fernandez RT (2008) Assessment of aliphatic-aromatic copolyester biodegradable mulch films. Part I: field study. *Chemosphere* 71:942–953

Kyrikou, I., & Briassoulis, D. (2007). Biodegradation of Agricultural Plastic Films: A Critical Review. *J Polym Environ* , 15:125-150.

Lamont W.J. (1993). Plastic mulches for the production of vegetable crops. *HortTech* 3: 35-39.

Lamont, W. J. (1999). *Vegetable Production Using Plasticulture*. Obtido em 19 de Agosto de 2011, de <http://www.agnet.org/library/eb/476/>

Liakatas, A., Clark, J. A., & Monteith, J. L. (1986). Measurements of the heat balance under plastic mulches. Parte 1. Radiation balance and soil heat flux. *Agricultural Forestry Meteorology* , 36 (3): 227-239.

López, J., González, A., Fernández, J. A., & Bañón, S. (2007). Behaviour of biodegradable films used for mulching in melon cultivation. *Acta Horticulturae* , 747: 125-130.

López-Marin, J., González, A., Rodríguez, M., & Fernández, J. A. (2010). Materiales degradables de acolchado. *Horticultura Global*, 289: 12-20.

Magnani, G., Filippi, F., Graifenberg, A., & Bertolacci, M. (2005). Valutazione agronomica di film biodegradabili per la pacciamatura. *Colture Protette*, 34: 59-68.

Martin-Closas L., Picuno P., Rodriguez D. & Pelacho A.M. (2008). Properties of new biodegradable plastics for mulching, and characterization of its degradation in the

- laboratory and in the field. ISHS *Acta Horticulturae* 801 : International Symposium on High Technology for Greenhouse System Management : Greensys 2007, pp 275-282.
- Minuto, G., Pisi, L., Tinivella, F., Bruzzone, C., Guerrini, S., Versari, M., (2008). Weed control with biodegradable mulch in vegetable crops. *Acta Horticulturae* , 801: 291-298.
- Moreno, M. M., & Moreno, A. (2008). Effect of different biodegradable and polyethylene mulches on soil properties and production in a tomato crop. *Scientia Horticulturae* , 116: 256-263.
- Observatório dos Mercados Agrícolas e das Importações Agro-Alimentares (2012), em <http://www.observatorioagricola.pt> acedido a 20 de Setembro de 2012
- Osawa Z (1992) Photoinduced degradation of polymers. Handbook of polymer degradation. Marcel Dekker, New York, pp 169–217
- Quezada, M. R., Munguía, J., De La Rosa, M., Munguía, J., & FAZ, R. (2000). *Comparative effect of plastic mulch and bare soil on growth analysis of melon crop*. Proceedings of 15th International Congress for Plastics in Agriculture and 29th National Agricultural Plastic Congress. Hershey, Pennsylvania, USA. *William J. Lamont Jr. Comité International des Plastiques en Agriculture and the American Society for Plasticulture*: 553-562.
- Ramakrishna, A., Tam, H.M., Wani, S.P., Long, T.D. (2006). Effect of mulch on soil temperature, moisture, weed infestation and yield of groundnut in northern Vietnam. *Field Crops Research*, 95: 115-125.
- Ribas, F., Cabello, M., Moreno, M., Moreno, A., & López-Bellido, L., (2002). Respuesta fisiológica de un cultivo de melón (*Cucumis melo* L.) a distintas dosis de riego, *Invest. Agr.: Prod. Prot. Veg.*, 15 (3): 195-212.
- Schnabel W (1992) Polymer degradation: principles and practical applications. Hanser, New York
- Secretaria de Estado da Agricultura (1977) – Serviço de reconhecimento agrário, *Portuguese land use capacity charter-31A*
- Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (2012), em <http://www.snirh.pt>, acedido a 7 de Setembro de 2011
- Sivan, Alex. (2011), *New perspectives in plastic biodegradation*, Current Opinion in Biotechnology, 22:422–426

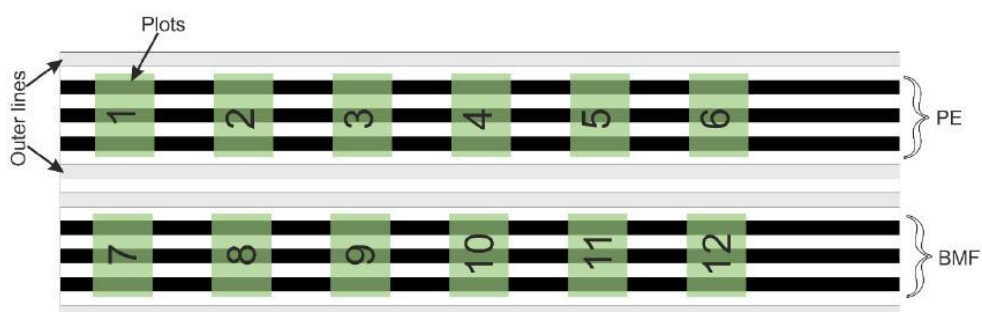
- Stoltzfus, R. M., Taber, H. G., & Aiello, A. S. (1998). Effect of increasing rootzone temperature on growth and nutrient uptake by 'gold star' muskmelon plants. *Journal of Plant Nutrition*, 21 (2): 321-328.
- Swift G. (1997) Non-medical biodegradable polymers: environmentally degradable polymers. In: Domb AJ, Kost J, Wiseman DM, editors. *Handbook of Biodegradable Polymers*. Amsterdam: Harwood Academic; p. 473–511.
- Valenzuela P.A. & Gutiérrez H.C. (1999). Acolchado de suelo mediante filmes de polietileno. *El Agroecologico*, Maio. Fundación Chile.
- Weber, C. A. (2003). Biodegradable Mulch Films for Weed Suppression in the Establishment Year of Matted-row Strawberries. *HortTechnology*, v. 13, n. 4, pp. 665-668.
- Zeng, C., Bie, Z., & Yuan, B. (2009). Determination of optimum irrigation water amount for drip-irrigated muskmelon (*Cucumis melo* L.) in plastic greenhouse. *Agricultural Water Management*, 96: 595-602.

Anexos

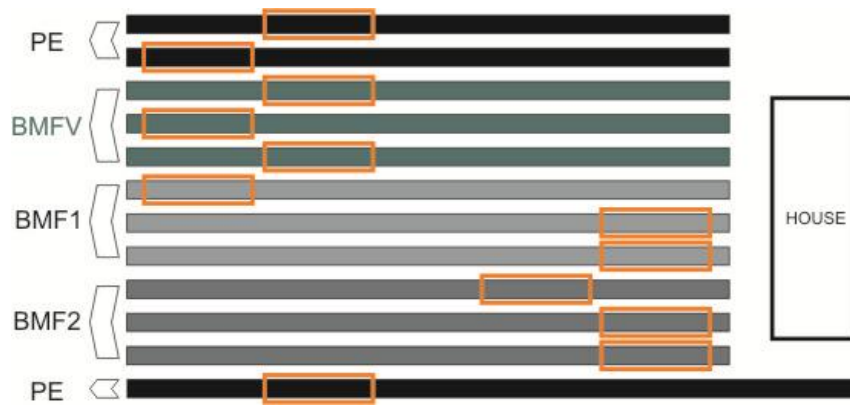
Anexo 1 – Localização e orientação dos ensaios realizados (2010 e 2011).....	18
Anexo 2 – Delineamento do primeiro ensaio de campo.....	18
Anexo 3 – Delineamento do segundo ensaio de campo.....	19
Anexo 4 – Estação meteorológica utilizada nos ensaios de campo.....	19
Anexo 5 – Recipientes utilizados no ensaio de biodegradação (dia do início).....	20
Anexo 6 – Análises depois da incorporação do BMF1 (2010).....	21
Anexo 7 – Análises depois da incorporação do BMF1 (2010).....	22



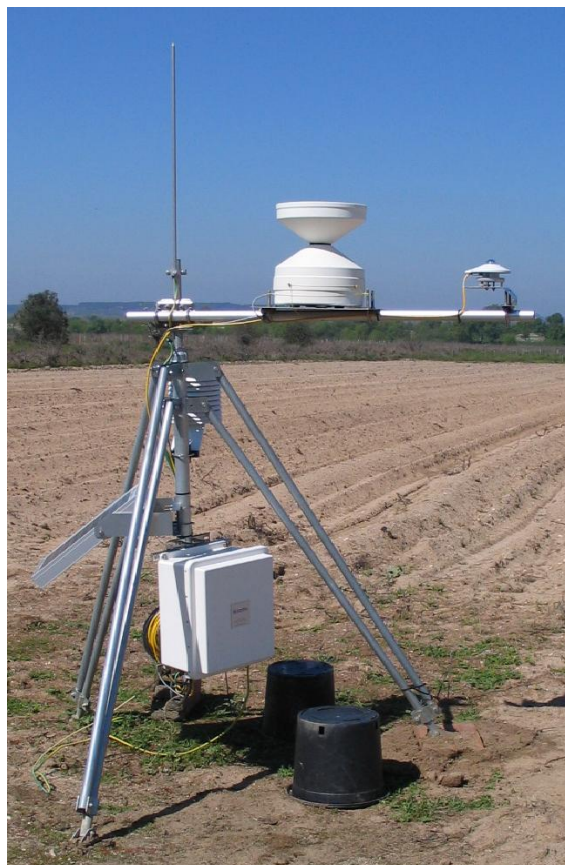
Anexo 1 – Localização e orientação dos ensaios realizados (2010 e 2011)



Anexo 2 – Delineamento do primeiro ensaio de campo



Anexo 3 – Delineamento do segundo ensaio de campo



Anexo 4 – Estação meteorológica utilizada nos ensaios de campo



Anexo 5 – Recipientes utilizados no ensaio de biodegradação (dia do início)

Anexo 6 – Análises depois da incorporação do BMF1 (2010)

		14 October 2010		04 November 2010		09 December 2010		14 January 2011		28 February 2011	
	Unidad es	PE	BMF1	PE	BMF1	PE	BMF1	PE	BMF1	PE	BMF1
pH (H ₂ O)		5,51 ± 0,1	5,56 ± 0,1	5,48 ± 0,0	5,87 ± 0,0	5,57 ± 0,0	6,15 ± 0,1	5,77 ± 0,1	5,99 ± 0,2	5,90 ± 0,1	6,29 ± 0,1
pH (KCL)		4,53 ± 0,0	4,50 ± 0,0	4,72 ± 0,0	4,98 ± 0,0	4,23 ± 0,0	4,78 ± 0,0	4,46 ± 0,2	4,89 ± 0,0	4,46 ± 0,2	4,94 ± 0,2
Conductivity	µS/cm	10,34 ± 0,5	11,22 ± 1,1	12,23 ± 0,4	12,53 ± 0,3	5,22 ± 0,1	4,45 ± 0,2	3,76 ± 0,4	5,89 ± 0,0	3,12 ± 0,1	1,94 ± 0,2
Carbon	%	0,63 ± 0,0	0,74 ± 0,0	0,83 ± 0,0	0,73 ± 0,0	0,53 ± 0,0	0,62 ± 0,0	0,86 ± 0,0	0,93 ± 0,0	0,71 ± 0,0	0,73 ± 0,1
Nitrogen	(NO ₃ ⁻) mg N/Kg	38,23 ± 1,2	46,41 ± 0,9	46,65 ± 2,8	42,92 ± 0,8	17,67 ± 1,0	15,01 ± 1,7	6,22 ± 0,9	6,05 ± 1,7	10,75 ± 7,8	5,81 ± 1,4
Potassium	(K ₂ O) mg K/Kg	97,11 ± 1,2	118,28 ± 4,1	116,20 ± 4,7	107,49 ± 2,9	88,40 ± 4,1	92,13 ± 1,2	67,23 ± 1,2	105,83 ± 1,8	83,83 ± 4,7	140,69 ± 6,5
Phosphorus	(P ₂ O ₅) mg P/Kg	161,78 ± 13,2	148,61 ± 17,2	136,37 ± 3,3	146,41 ± 16,1	118,94 ± 8,9	131,49 ± 5,6	103,02 ± 8,0	134,60 ± 6,9	94,23 ± 4,1	128,58 ± 3,5
Calcium	(Ca) mg Ca/Kg	351,75 ± 15,9	424,88 ± 43,0	412,13 ± 34,5	651,75 ± 27,6	700,88 ± 34,5	778,50 ± 75,3	583,50 ± 31,8	861,38 ± 27,0	569,63 ± 49,3	1048,88 ± 63,1

Anexo 7 – Análises depois da incorporação do BMF1 (2010)

		14 October 2010		04 November 2010		09 December 2010		14 January 2011		28 February 2011	
	Unidades	PE	BMF1	PE	BMF1	PE	BMF1	PE	BMF1	PE	BMF1
Ca	cmolc Kg ⁻¹	2,56	2,61	2,90	3,46	3,17	4,20	3,27	4,66	3,31	4,07
Mg		0,59	0,62	0,65	0,78	0,68	0,88	0,82	0,94	0,81	0,82
K		0,25	0,09	0,14	0,27	0,13	0,05	0,02	0,20	0,05	0,11
Na		0,18	0,01	0,02	0,12	0,16	0,01	0,12	0,04	0,04	0,01
SB		3,58	3,33	3,71	4,63	4,14	5,14	4,22	5,84	4,20	5,01
CTC		5,19	4,99	5,07	5,51	6,62	7,05	6,13	7,28	6,45	7,08
GSB	%	69,10	66,80	73,20	84,10	62,50	72,90	68,80	80,15	64,90	70,60
Teor em bases, soma das bases (SB), capacidade de troca catiónica (CTC) e grau de saturação em bases (GSB)											